

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : G02F 1/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/13056 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 9. März 2000 (09.03.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/02608 (22) Internationales Anmeldedatum: 19. August 1999 (19.08.99) (30) Prioritätsdaten: 198 39 308.3 28. August 1998 (28.08.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (DE/DE); Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NOE, Reinhold (AT/DE); Helmerner Weg 2, D-33100 Paderborn (DE). (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE- SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	

(54) Title: POLARISATION TRANSFORMER WITH VARIABLE INTRINSIC MODES OF POLARISATION ELEMENTS

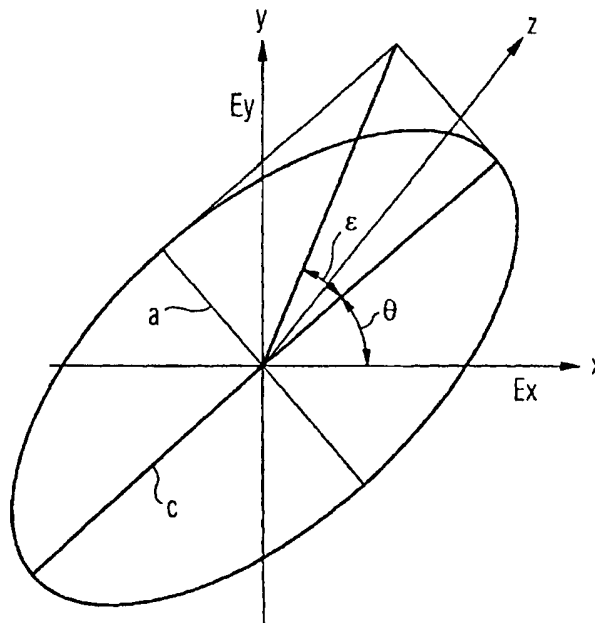
(54) Bezeichnung: POLARISATIONSTRANSFORMATOR MIT EINSTELLBAREN EIGENMODEN DER POLARISATIONSELEMENTE

(57) Abstract

The inventive polarisation transformer (PT) contains 3 to 8 polarisation elements (W1, W2, ...), at least 3 of which are controlled individually. The intrinsic modes can be regulated in such a way as to produce an at least overall approximate difference in propagation time between the intrinsic modes of π rad. Any state of polarisation can be achieved by linearly modifying the set values.

(57) Zusammenfassung

Der Polarisationstransformator (PT) enthält 3 bis 8 Polarisations-elemente (W1, W2, ...), von denen mindestens 3 individuell angesteuert werden und bei dem die Eigenmoden so eingestellt werden können, daß sich zumindest insgesamt näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden von π rad ergibt. Durch lineare Änderung der Einstellwerte kann jeder Polarisationszustand erreicht werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Polarisationstransformator mit einstellbaren Eigenmoden der Polarisationselemente

5

Die Erfindung betrifft einen Polarisationstransformator nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

10 Ein Polarisationstransformator dient zur Veränderung des Polarisationszustandes einer elektromagnetischen, vorzugsweise optischen Welle.

15 In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungstechniken eingesetzt. Die Lichtwellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der großen Übertragungslänge ergibt sich hierdurch eine frequenzabhängige Polarisationstransformation, Polarisationsmodendispersion (PMD) oder kürzer Polarisationsdispersion genannt. Diese führt insbesondere zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch die Übertragungsdatenrate limitiert wird. Eine Kompensation wird dadurch erschwert, daß sich die Polarisationsmodendispersion durch unterschiedliche Temperaturen oder mechanische Beanspruchung verändert. Deshalb werden adaptive PMD-
20 Kompensatoren benötigt, die, in den Übertragungspfad eingefügt, die schädlichen Auswirkungen kompensieren sollen.

Polarisationstransformatoren, welche sowohl in PMD-Kompensatoren als auch zu anderen Zwecken, beispielsweise der
30 Einstellung eines gewünschten Eingangspolarisationszustandes am Eingang eines polarisationsabhängigen optischen Verstärkers, eingesetzt werden können, sind prinzipiell bekannt und beispielsweise in IEEE Journal of Light Wave Technology, Vol. 8, Nr. 3, March 1990, Page 459 - 465 oder beschrieben.
35 Zur Steuerung der Polarisation werden Flüssigkristall-Retarder verwendet. Ein Polarisationstransformator besteht hier aus drei von einer Lichtwelle durchlaufenen Retardern.

Zwei Retarder arbeiten als Einheit unabhängig vom dritten und werden von zwei unabhängigen Regelkreisen angesteuert. Der Nachteil des Retarders besteht darin, daß nematische Flüssigkristalle verwendet werden. Diese haben eine niedrige, für kommerziellen Einsatz nicht ausreichende Ansprechgeschwindigkeit. Außerdem ist die Verzögerung variabel, während die Eigenmoden fest sind. Dies bedeutet, daß, wenn die Verzögerungsgrenzen erreicht sind, im Betrieb Rücksetzvorgänge erforderlich sind, welche schwierig zu implimentieren sind und Übertragungsfehler bewirken können.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen mit wenigen Retardern realisierbaren Polarisationstransformator anzugeben, der keine Rücksetzvorgänge erfordert. Ersoll auch ohne mechanisch beweglich Retarder realisierbar sein.

Diese Aufgabe wird durch einen Polarisationstransformator nach Anspruch 1 gelöst.

Wesentlich bei diesem Polarisationstransformator ist, daß zumindest drei Polarisationselemente unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Der beschriebene Polarisationstransformator läßt sich mit geringem Aufwand und niedriger Eigendämpfung realisieren. Durch die Verwendung einer minimalen Anzahl von Retardern wird auch das Bauvolumen verringert. Der Polarisationstransformator ermöglicht die sog. "endlose" Polarisationsregelung. Dies bedeutet, daß ein bestimmter Eingangspolarisationszustand in jeden beliebigen Ausgangspolarisationszustand transformiert werden kann, und daß beliebige vorgegebene Änderungen dieses Ausgangspolarisationszustands auf direktem Wege erreicht werden können, also ohne Umwege über weitere Polarisationszustände. Entsprechendes gilt für die Transformation eines beliebigen variablen Transformationszustandes in einem bestimmten festen Polarisationszustand. Diese Eigenschaft ist von besonderer Bedeutung, da die Bitfehlerrate eines optischen Datenübertragungssystems vom Polarisationszustand abhängt und dieser seinerseits von Schwankungen des Po-

larisationsübertragungsverhaltens einer langen Lichtwellenleiterstrecke beeinflußt wird, eine nicht endliche Polarisationsregelung kurze Perioden mit sehr hohen Bit-Fehlerraten bewirken würde, während eine endlose Polarisationsregelung dies vermeiden kann.

Der erfindungsgemäße Polarisationstransformator kommt theoretisch mit drei verschiedenen Polarisationselementen aus, die jedoch in großen Bereichen verstellbar sein müssen. Die Verwendung von mehreren Polarisationselementen läßt größere Toleranzen zu und kommt mit geringen Einstellbereichen aus. Auch ist die Verwendung von ferroelektrischen Flüssigkristallzellen möglich, so daß bewegliche Elemente entfallen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren näher beschrieben.

Es zeigen:

- Figur 1 eine Polarisationsellipse,
Figur 2 eine Poincaré-Kugel,
Figur 3 einen erfindungsgemäßen Polarisationstransformator,
Figur 4 bis 8 verschiedene Ansteuerdiagramme,
Figur 9 eine Sendeeinrichtung und
Figur 10 einen Kompensator zur Polarisationsmodendispersion.

Zur Darstellung von Polarisationszuständen hat sich die sog. Poincaré-Kugel bewährt. Ein Polarisationszustand wird durch einen normierten Stokes-Vektor dargestellt. Da die Länge des Vektors für vollständig polarisiertes Licht gleich 1 ist, liegen seine Endpunkte auf der Kugeloberfläche. Zum besseren Verständnis ist in Figur 1 zunächst die sog. Polarisationsellipse dargestellt. Die Achsen x und y liegen in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Achse z . Die elektrischen Feldstärkekomponenten sind mit E_x und E_y bezeichnet. θ bezeichnet den Erhebungswinkel der großen Hauptachse c

(Haupttrichtung der Polarisation) gegenüber der x-Achse und ϵ den Elliptizitätswinkel. In der dreidimensionalen Datenstellung der Poincaré-Kugel bezeichnet die S1-Achse den Grad der horizontalen bzw. vertikalen Polarisation. Da in der Poincaré-Kugel die doppelten Winkel aufgetragen sind, bedeuten negative Werte auf der S1-Achse eine vertikale Polarisation. P1 entspricht einem horizontalen Polarisationszustand und P2 einem vertikalen Polarisationszustand. Die S2-Achse steht entsprechen für $+45^\circ/-45^\circ$ lineare Polarisation und die S3-Achse für rechts-/linkszirkulare Polarisation.

In die Poincaré-Kugel sind außerdem der Äquator und die von den Achsen S2 und S3 aufgespannte Ebene eingezeichnet; die von den Achsen S1 und S3 aufgespannte Ebene wurde dagegen nur angedeutet.

Mittels einer "endlosen" Polarisationsregelung soll ein bestimmter Eingangspolarisationszustand, beispielsweise P1 (S1 = 1) in jeden beliebigen Ausgangszustand transformiert und auch eine beliebige vorgegebene Änderung dieses Ausgangspolarisationszustandes auf direktem Wege erreicht werden können. Bevor hierauf weiter eingegangen wird, soll die Arbeitsweise des Polarisationstransformators näher erläutert werden.

In **Figur 3** ist ein Ausführungsbeispiel des Polarisationstransformators PT dargestellt. Die über einen Lichtwellenleiter LWL ankommende Lichtwelle LW wird in einer Gradientenlinse L1 aufgefächert und durchläuft verschiedene Polarisationsselemente oder Retarder W1 bis W6, um in einer zweiten Linse L2 zusammengefaßt zu werden und über einen polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF (mit einer Länge, die einer Gruppenlaufzeitdifferenz zwischen den beiden erhaltenen Polarisationen liegt) ausgekoppelt zu werden. Als Retarder W1 bis W6 eignen sich Wellenplatten und besonders ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die mit Elektroden versehen sind und durch das Anlegen von Steuerspannungen U1 bis U6 als Polarisationsselemente wirken. Jeder Retarder weist zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und eine annähernd konstan-

te Laufzeitdifferenz, kurz Verzögerung genannt, zwischen „schnellen“ und „langsamen“ Eigenmoden auf. Durch individuelle Steuerung der Retarder mit unterschiedlichen Spannungen können von einem bestimmten Polarisationszustand, beispielsweise P1 ($S_1 = 1$) ausgehend sämtliche Punkte auf der Oberfläche der Poincaré-Kugel, d.h. sämtliche Polarisationszustände erreicht werden.

Zur Erleichterung des Verständnisses ist ein gedanklicher Zwischenschritt zweckmäßig. Eine Voraussetzung zur gewünschten Funktionsweise ist, daß der Polarisationstransformator zumindest näherungsweise eine gesamte Verzögerung zwischen seinen orthogonalen Eigenmoden entsprechend π rad besitzt, also im Fall horizontaler oder vertikaler Eingangspolarisation eine Polarisationsänderung um 90° bewirken kann. In der Darstellung auf der Poincaré-Kugel bedeutet dies, daß der Polarisationszustand P1 auf der Achse S_1 in den Polarisationszustand P2 ($S_1 = -1$) übergeführt werden kann, der dem Punkt P1 gegenüberliegend dargestellt ist. Der Polarisationstransformator, als homogenes Element betrachtet, besitzt neben der genannten Verzögerung natürlich auch orthogonale Eigenmoden. Die von ihm bewirkte Polarisationstransformation läßt sich deshalb in Form einer einzigen Drehung angeben. Die Drehachse verläuft durch die beiden Eigenmoden. Im angegebenen Beispiel liegt sie in der von den Achsen S_2 und S_3 gebildeten Ebene und der Winkel 2γ wird zwischen der positiven S_2 -Achse und der Achse des Großkreises angegeben. Die Überführung des einen Polarisationszustandes in den anderen Polarisationszustand erfolgt jeweils über einen Großkreis GK (von beliebig vielen Großkreisen).

In **Figur 4** sind für einen Polarisators mit 3 Retardern W_1 , W_2 , und W_3 die Funktionen der Einstellwerte, hier die jeweiligen doppelten Erhebungswinkel $2\theta_1$, $2\theta_2$ und $2\theta_3$ der einzelnen Retarder, dargestellt, bei denen für die unterschiedlichsten Werte von 2γ (2γ entspricht der Schwenkung der Eigenmoden bzw. der Achse eines Großkreises um die S_1 -Achse und

gibt damit beliebige durch $S = 1$ und $S = -1$ gehende Großkreise an) ein linearer Eingangs-Polarisationszustand P_1 ($S_1 = 1$) mit einem Erhebungswinkel von 0° auf der Ausgangsseite zu einem Polarisationszustand mit einem Erhebungswinkel von $\pi/2$
5 ($S_1 = -1$) wird, d.h. zu einem senkrechten Polarisationszustand wird.

Will man jedoch nicht diese maximale Änderung des Polarisationszustandes erreichen, sondern einen zur Kompensation erforderlichlich „Betriebs-Polarisationszustand“ PB, so sind die in
10 Figur 4 angegebenen Erhebungswinkel gleichmäßig linear zu reduzieren, um auf einem bestimmten durch 2γ festgelegten Großkreis zum gewünschten Polarisationszustand zu gelangen. Da sich mit der Erhebungswinkel im allgemeinen auch gleichzeitig
15 die Eigenmoden des gesamten Polarisationsstransformators ein wenig verändern, beispielsweise aus der durch die Achsen S_2 und S_3 gebildeten Ebene heraustreten, ist nicht genau die Gruppe von Erhebungswinkeln maßgebend, die bei dem zugehörigen Wert 2γ abgelesen wird, sondern eine in deren Nachbarschaft
20 ablesbare Wertegruppe von Erhebungswinkeln, die gleichmäßig linear zu reduzieren ist. In diesem Fall gelangt man trotzdem zum gewünschten Polarisationszustand PB.

Zusätzliche Funktionalität, welche im Betrieb Robustheit gegenüber auftretenden Schwankungen aller Arten, beispielsweise
25 Temperaturschwankungen verschafft, erhält man, wenn im Fall einer eingestellten Verzögerung von wenigstens näherungsweise π die Eigenmoden des Polarisationsstransformators nicht nur auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel endlos eingestellt
30 werden können, sondern auch in der Nachbarschaft dieses Großkreises. Ein entsprechendes Toleranzband TB, innerhalb dessen sich die Eigenmoden des Polarisationsstransformators bei eingestellter Verzögerung von π bewegen können, ist schematisch in Figur 2 dargestellt. Diese zusätzliche Funktionalität ergibt
35 sich automatisch, insbesondere in solchen Fällen, in denen der Polarisationsstransformator aus vier oder mehr Einzel-

retardern zusammengesetzt ist, durch die individuellen Ansteuermöglichkeiten dieser Retarder.

Man sieht, daß die Funktionsverläufe der Erhebungswinkel als
5 Funktion von $2y$ stetig und periodisch (gleiche Anfangs- und
Endwerte) sind. Um beispielsweise endlos variable Ausgangspolarisationen zu erzeugen, welche die Zustände (a) zirkular
($S_3 = 1$), (b) linear mit Erhebungswinkel $-\pi/4$ ($S_2 = -1$), (c)
entgegengesetzt zirkular ($S_3 = -1$), (d) linear mit Erhebungswinkel
10 $\pi/4$ ($S_2 = 1$) und wiederum (e) linear mit Erhebungswinkel
 $\pi/4$ ($S_2 = 1$) nacheinander und unter stetiger Änderung annimmt,
sind fortlaufende Wertegruppen, welche bei fortlaufenden Werten der
waagerechten Achse abzulesen sind, unter linearer Reduzierung anzuwenden.

15 Die Wertegruppen für die einzelnen Polarisationszustände sind
dem in Figur 4 dargestellten Diagramm - außer für die Punkte P1
und P2 - demnach nicht direkt zu entnehmen, sondern für die in der
Ebene S_2 , S_3 liegenden Punkte etwa zu halbieren.

20 Die dargestellten Funktionen für die einzustellenden Erhebungswinkel
schwanken um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation den
Polarisationstransformator unverändert passiert. Auf diese Weise wird
sichergestellt, daß auch alle
25 zwischen den genannten möglichen Ausgangspolarisationen liegenden
möglichen Polarisationszustände durch eine entsprechende Wertegruppe
mit geringen Amplituden erreicht werden können.

30 Die in Figur 4 dargestellten Erhebungswinkel müssen unter Berücksichtigung
von Nichtlinearitäten und nicht konstanten Verzögerungen zwischen
den Eigenmoden der Retarder in Steuerungsspannungen umgesetzt werden
und sind von den Laufzeitdifferenzen der Eigenmoden abhängig. In dem
angegebenen Beispiel
35 besitzen die Retarder W1 und W3 eine dem Winkel von $\phi_1 = \phi_3$
 $= 1,8947375$ rad (Radiant) entsprechende Laufzeitdifferenz

(Verzögerung) zwischen den Eigenmoden, der Retarder W2 eine Laufzeitdifferenz von 1.9427 rad.

Vorteilhaft an diesem Ausführungsbeispiel ist die sehr geringe Anzahl von erforderlichen Wellenplatten; nachteilig ist der relativ große maximal erforderliche Einstellwinkel der Eigenmoden. Ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die zur Realisierung besonders geeignet sind, besitzen zur Zeit nur Einstellbereiche von $\pm 45^\circ$ oder weniger.

Die großen Erhebungswinkel bzw. Einstellbereiche können wesentlich verkleinert werden, indem mehr als 3 Retarder vorgesehen sind. **Figur 5** zeigt dies bei Verwendung von vier Retardern, deren Laufzeitdifferenzen für die Eigenmoden $\phi_1 = \phi_2 = -\phi_3 = -\phi_4 = 2.123\text{rad}$ beträgt. Dieser Polarisationstransformator hat den Vorteil, daß nur ein Typ von Wellenplatten oder Flüssigkristallelemente erforderlich ist, von denen die beiden letzten um 90° verdreht werden. Durch die Drehung um 90° werden die langsamen und schnellen Eigenmoden vertauscht, so daß sich, bezogen auf die ursprünglichen Eigenmoden, das Vorzeichen der Verzögerung ändert. Wie anhand von **Figur 5** ersichtlich ist, liegen die maximal erforderlichen Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel bei etwa $\pm 1,1\text{ rad}$. Dies läßt sich mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen (FLC) bereits erreichen. Anstelle der genannten Verzögerung können auch etwas andere Werte $(0,96 \dots 1,1) \times 2.123\text{rad}$ verwendet werden.

In **Figur 6** ist das entsprechende Wertediagramm für 5 Retarder dargestellt. Die Verzögerungen betragen für $\phi_1 = \phi_5 = 1,2860\text{ rad}$, $\phi_2 = \phi_4 = 2.1823\text{ rad}$, $\phi_3 = 1.4939\text{ rad}$. In **Figur 7** ist das Wertediagramm eines anders ausgeführten Polarisationskompensators dargestellt, dessen Verzögerungen $\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi_4 = \phi_5 = 1,27\text{ rad}$ betragen. Wegen der vorhandenen Freiheitsgrade können bei mehr als drei Polarisationsselementen stets mehrere Sätze von stetigen Funktionsverläufen angegeben werden.

Figur 8 zeigt die Werte für 6 Retarder. Die Verzögerungen betragen für $\varphi_1 = \varphi_3 = -\varphi_4 = -\varphi_6 = 1,8652$ rad und für $\varphi_2 = -\varphi_5 = 2,631$ rad. Die hinteren drei Wellenplatten sind gegenüber den drei vorderen wiederum um 90° gedreht, um negative Verzögerungswerte mit den gleichen Bauelementen realisieren zu können. Es sind nur drei Funktionsverläufe angegeben, die jeweils für einen Erhebungswinkel einer Wellenplatte und dessen negative Funktion für eine weitere Wellenplatte gelten.

10

Für Ausführungsformen mit ungerader Elementanzahl ist es günstig die Verzögerungswerte bezüglich des mittleren Elements symmetrisch zu gestalten, da sich auf diese Weise möglichst kleine maximal erforderliche Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel $2x\theta_1, 2x\theta_2, \dots$ ergeben.

15

Während Wellenplatten lineare Eigenmoden besitzen, gilt dies für ferroelektrische Flüssigkristallzellen nicht uneingeschränkt, da diese chirale Moleküle und eine helikale Molekül-Superstruktur besitzen. Dennoch kann die Erfindung auch uneingeschränkt in diesen Fällen verwendet werden, sofern die Eigenmoden sich bei Anlegen einer Zellenspannung auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel bewegen. In der Praxis wird dies nicht immer zu erfüllen sein. Dennoch läßt ein Polarisations-
transformator gemäß der Erfindung auch für solche Fälle, beispielsweise mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen problemlos realisieren, wenn vier oder mehr Flüssigkristallzellen vorgesehen sind. Selbst der Fall, daß die Verzögerungen bei einer Veränderung der Eigenmoden nicht konstant bleiben, wird durch die zusätzlichen Freiheitsgrade beherrschbar. Bezogen auf die Figur 2 kann es insbesondere in solchen Fällen notwendig werden, daß die Punkte P1 und P2 auf der Poincaré-Kugel nicht oder nicht genau gegenüber liegen. Wie aus den Darstellungen der Wertegruppen hervorgeht, gehen die wählbaren Funktionsverläufe der verstellbaren Eigenmoden mit zunehmender Anzahl von Retardern immer mehr in Sinusverläufe

20

25

30

35

über. Exakte Sinusverläufe an allen Wellenplatten sind jedoch erst bei unendlich vielen Wellenplatten erreichbar.

Ein erfindungsgemäßer Polarisationstransformator kann die
5 bisherigen Polarisationstransformatoren, wie sie beispielsweise in der Patentanmeldung DE 36 31 798.5 beschrieben sind, ersetzen. Alternativ zu dieser Verwendung in einem Kompensator ist die Verwendung der Erfindung bei der sendeseitigen
10 Kompensation oder, genauer gesagt, der Vermeidung von Polarisationsdispersion erster Ordnung dadurch möglich, daß die Sendepolarisation einer der Polarisationsmodendispersion erster Ort nicht unterworfenen Polarisierung der Übertragungsstrecke, eines sog. „principal state of polarisation“ entspricht. Zu diesem Zwecke können beispielsweise ferroelektrische
15 Flüssigkeitszellen gleich in das Sendelasermodul mit eingebaut werden. Dies ist **Figur 9** prinzipiell dargestellt, bei der ein Laser LA und ein Polarisationstransformator PT zusammengefaßt sind.

20 Die Erfindung kann auch als in einem Kompensator zur Polarisationsmodendispersion eingesetzt werden. Dazu werden abwechselnd ein Polarisationstransformator PT1, PT2, PT3, ... und ein Verzögerungselement, welches eine näherungsweise frequenzabhängige große Verzögerungszeit zwischen seinen
25 principal states of polarisation besitzt, beispielsweise ein Stück polarisationserhaltende Faser PMF1, PMF2, PMF3, .. von einer Lichtwelle LW durchlaufen. Ein solcher Kompensator wird bevorzugt empfängerseitig am Ende der Übertragungsstrecke eingesetzt. In den Fällen, wo beliebige und im allgemeinen mehrere
30 Polarisierungen gleichzeitig am Eingang eines Polarisationstransformators anliegen, ist die Eingangspolarisation nicht mehr gleich dem Punkt P1 (Figur 1). Die Anforderungen an die Polarisationstransformatoren sind aber trotzdem mit den vorstehend beschriebenen identisch.

Patentansprüche

1. Polarisationstransformator (PT) mit mehreren von einer Lichtwelle durchlaufenden einstellbaren Retardern (W1 - W6),
5 die zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und zumindest eine annähernd konstante Laufzeitdifferenz zwischen diesen Eigenmoden aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest drei der Retarder (W1, W2, W3) individuell an-
10 gesteuert werden,
daß wenigstens ein Retarder durch elektrostatische Felder innerhalb von Grenzen, also nicht endlos einstellbare Eigenmoden aufweisen kann,
daß die Eigenmoden der Retarder (W1, W2, W3) so eingestellt
15 werden können, daß sich zumindest näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden entsprechend einer Phasendifferenz von π rad ergibt,
daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) zumindest annähernd
20 über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt, wobei diesen unterschiedliche Gruppen von Einstellwerten ($2\pi\theta_1$, $2\pi\theta_2$, $2\pi\theta_3$, ...) der einzelnen Retarder (W1, W2, W3, ...) zugeordnet sind, und
daß zwischen dem ersten Polarisationszustand (P1) und dem
25 zweiten Polarisationszustand (P2) zumindest annähernd entlang allen Großkreisen Änderungen des Polarisationszustandes durch zumindest annähernd lineare Änderungen der Einstellwerte ($2\pi\theta_1$, $2\pi\theta_2$, $2\pi\theta_3$, ...) durchgeführt werden können.
- 30 2. Polarisationstransformator nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt.

3. Polarisationstransformator nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei Einstellung einer Verzögerung von π Eigenmoden einge-
stellt werden können, die sich auf einem einen Großkreis ein-
schließendem Toleranzband (TB) der Poincaré-Kugel endlos va-
riieren lassen.
4. Polarisationstransformator nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß wenigstens eine die Einstellwerte ($2x\theta_1$, $2x\theta_2$, $2x\theta_3$, ...) der Retarder (W_1 , W_2 , W_3 , ...) angebenen Funktionen nicht sinusförmig verläuft.
5. Polarisationstransformator nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Einstellwerte ($2x\theta_1$, $2x\theta_2$, $2x\theta_3$, ...) um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation erhalten bleibt, variiert werden.
6. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß 3 bis 8 Retarder (W_1 , W_2 , W_3 , ...) vorgesehen sind.
7. Polarisationstransformator nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß Retarder (W_1 bis W_6) mit zumindest annähernd gleichen Einstellmöglichkeiten ihrer Eigenmoden vorgesehen sind.
8. Polarisationstransformator nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Retarder (W_1 bis W_8) Wellenplatten vorgesehen sind.

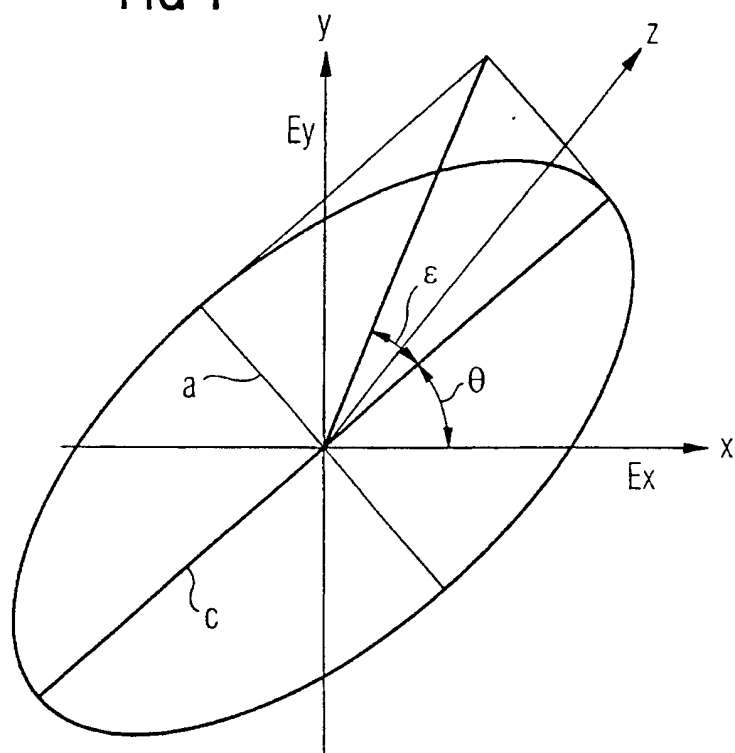
9. Polarisationsstransformator nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Retarder (W1 bis W8) ferroelektrische Flüssigkristal-
5 lelemente vorgesehen sind.
10. Polarisationsstransformator nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß vier bis acht Flüssigkristallelemente vorgesehen sind.
- 10 11. Polarisationsstransformator nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß 3 Retarder (W1, W2, W3) vorgesehen sind, die Laufzeitdif-
ferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd $\phi_1 =$
15 $\phi_3 = 1,89947375$ rad und $\phi_2 = 1,9427$ rad aufweisen.
12. Polarisationsstransformator nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß vier Retarder (W1, W2, W3, W4) vorgesehen sind, die Lauf-
20 zeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annä-
hernd $\phi_1 = \phi_2 = -\phi_3 = -\phi_4 = 2,123$ rad aufweisen.
13. Polarisationsstransformator nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
25 daß fünf Retarder (W1, W2, W3, W4, W5) vorgesehen sind, die
Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest an-
nähernd $\phi_1 = \phi_5 = 1,2860$ rad, $\phi_2 = \phi_4 = 2,1823$ rad und $\phi_3 =$
1,4939 rad aufweisen.
- 30 14. Polarisationsstransformator nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß 6 Polarisationsselemente (W1, W2, W3, W4, W5, W6) vorgese-
hen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von
zumindest annähernd $\phi_1 = \phi_3 = -\phi_4 = -\phi_5 = 1,8652$ rad und, ϕ_2
35 $= -\phi_5 = 2,6310$ rad aufweisen.

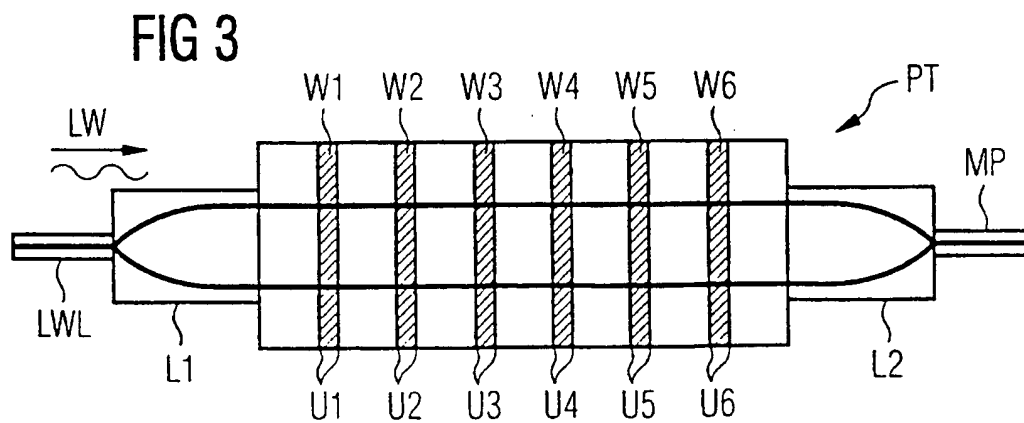
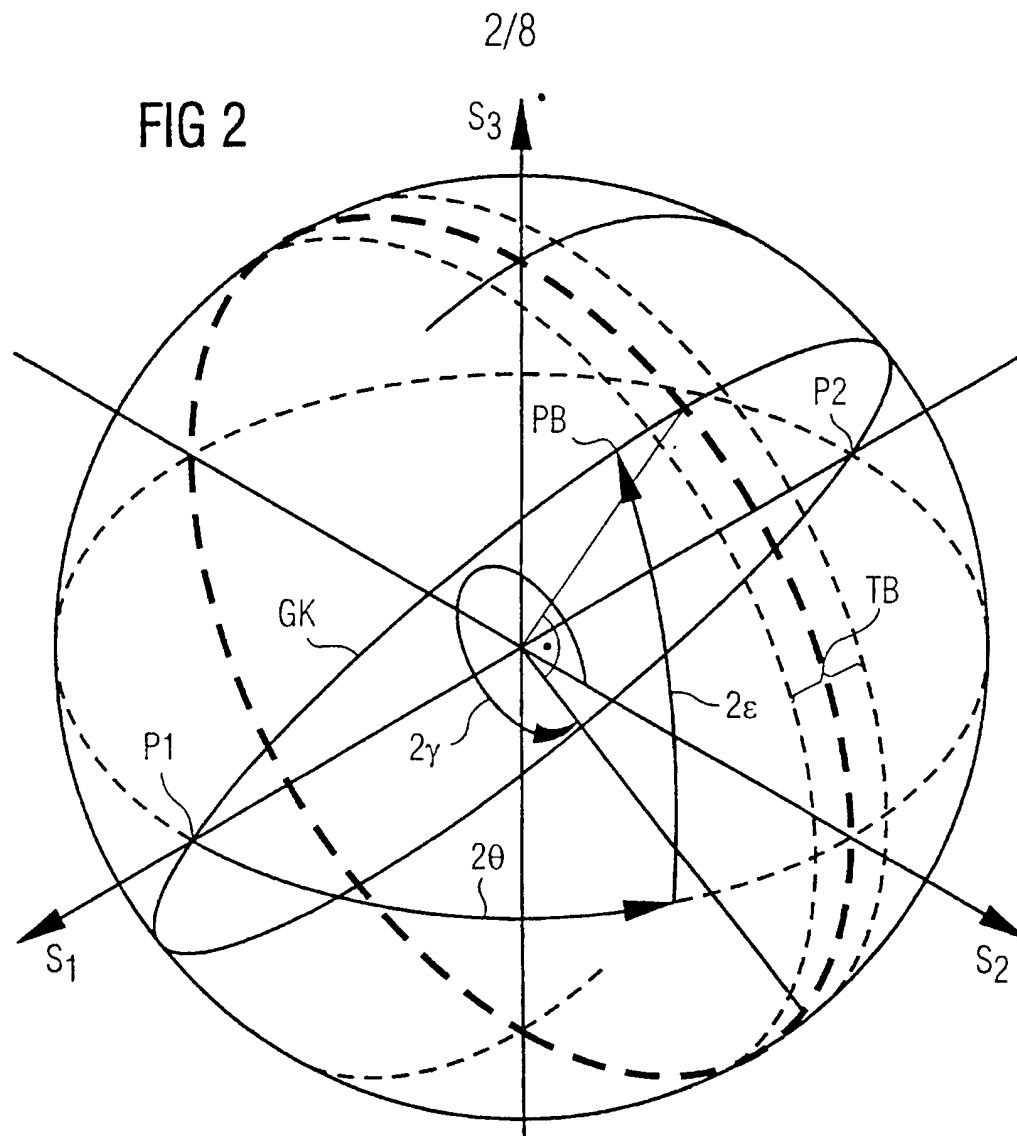
15. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß er bei einer optischen Übertragungsstrecke zur Regelung
5 der Sendepolarisation vorgesehen ist.

16. Polarisationstransformator (PT1, PT2, ...) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
10 daß er in Reihe mit einem differentiellen Laufzeitglied (PMF1, PMF2, PMF3, ...) in Empfängernähe zur Regelung von Polarisationsmodendispersion vorgesehen ist.

1/8

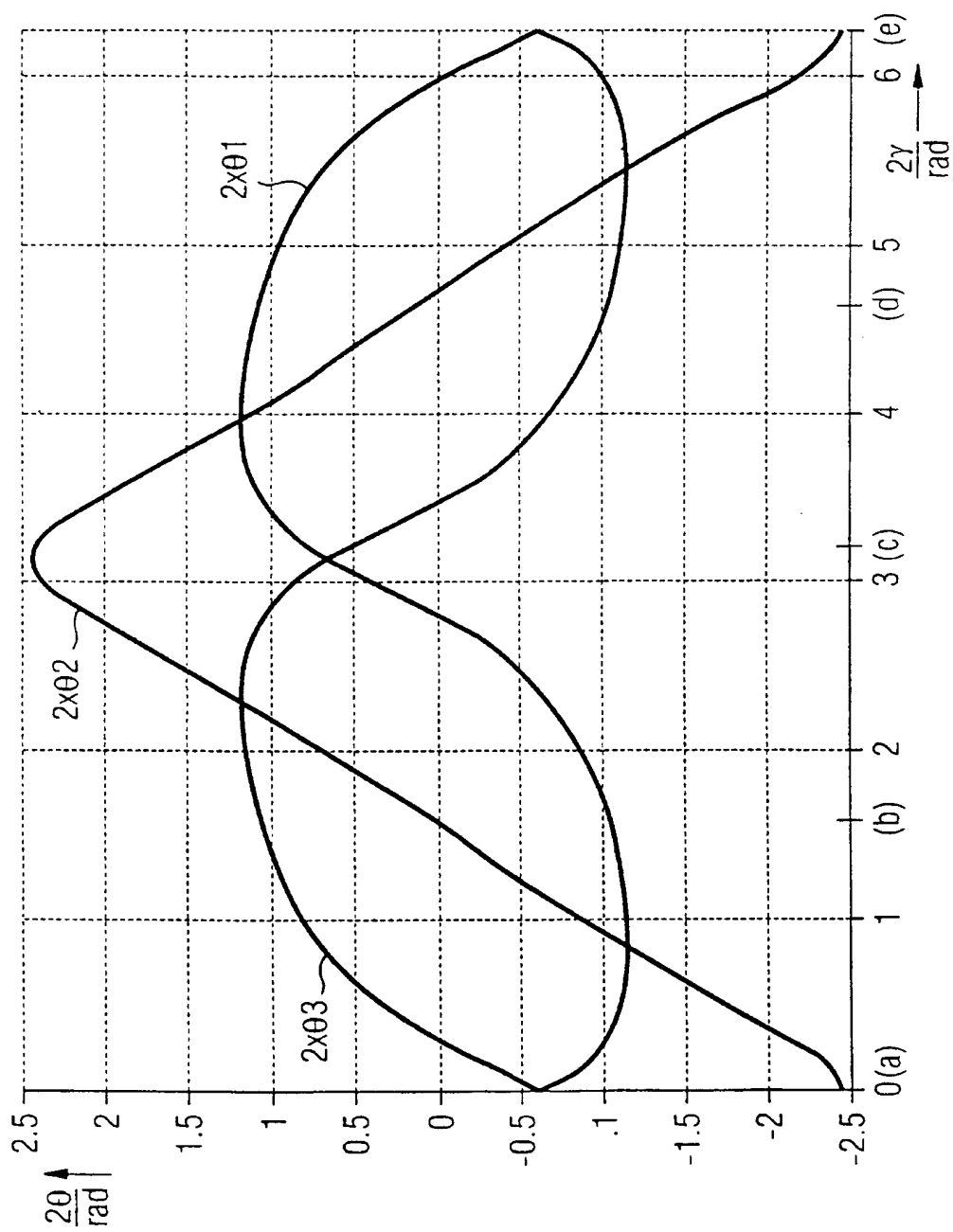
FIG 1





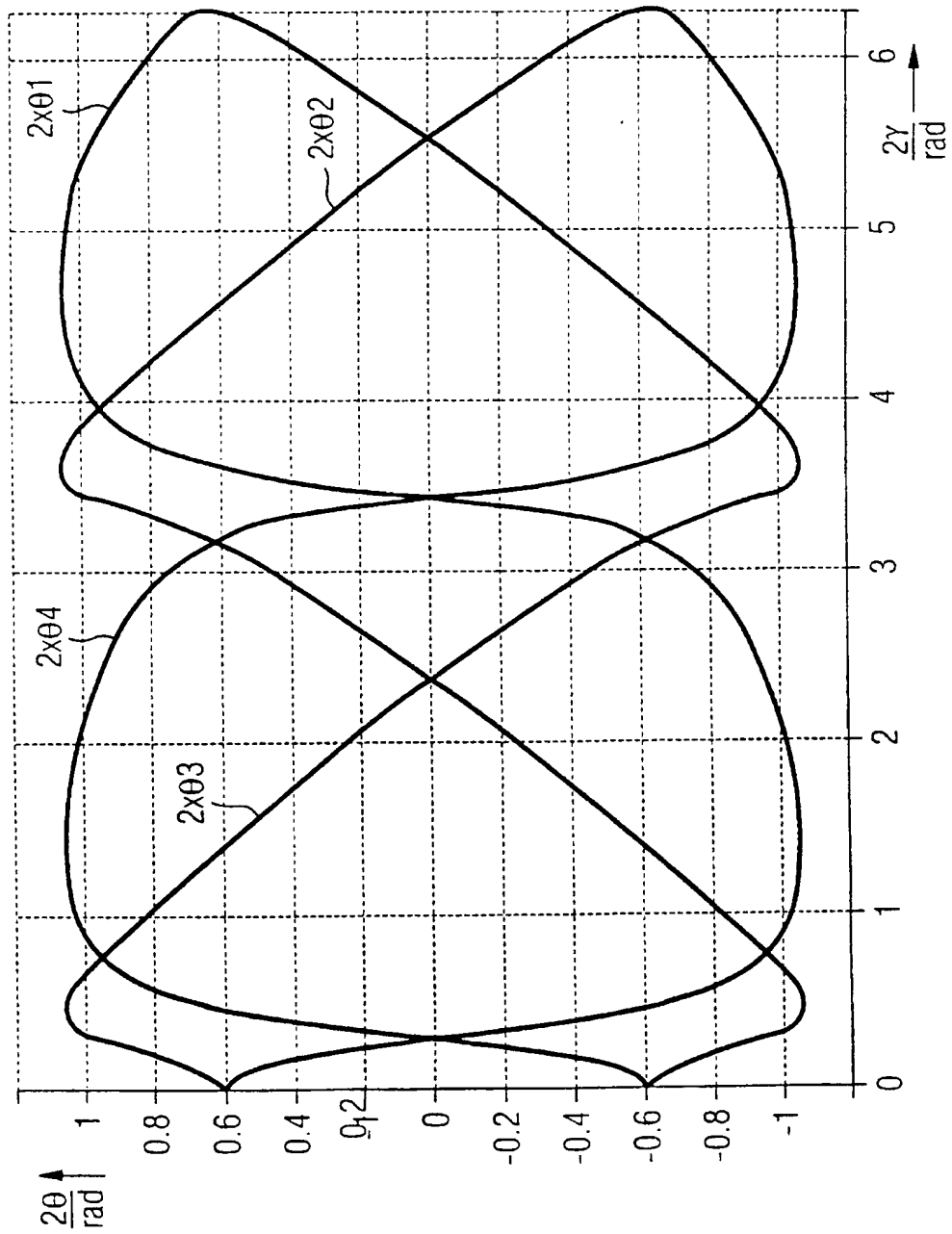
3/8

FIG 4



4/8

FIG 5



5/8

FIG 6

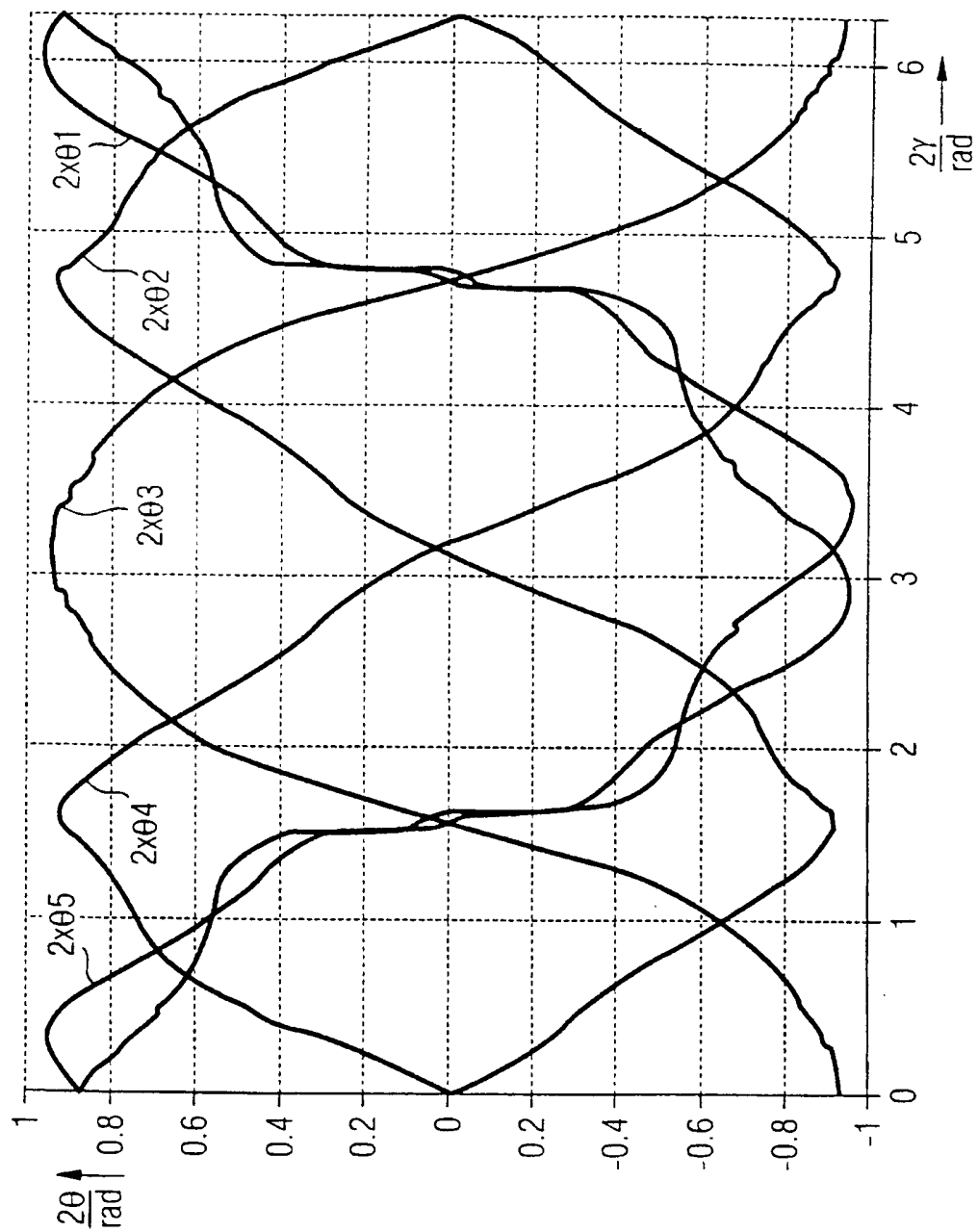
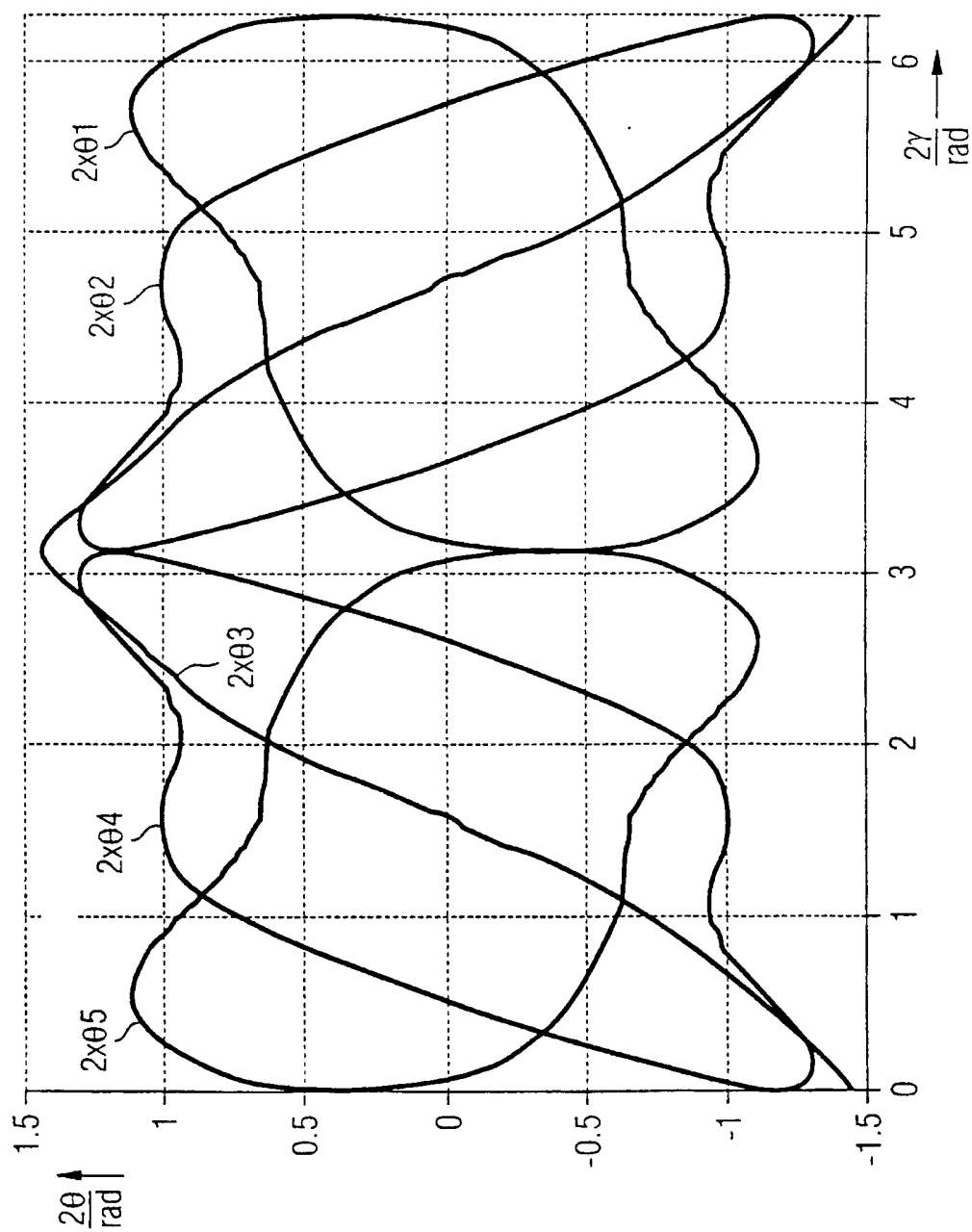
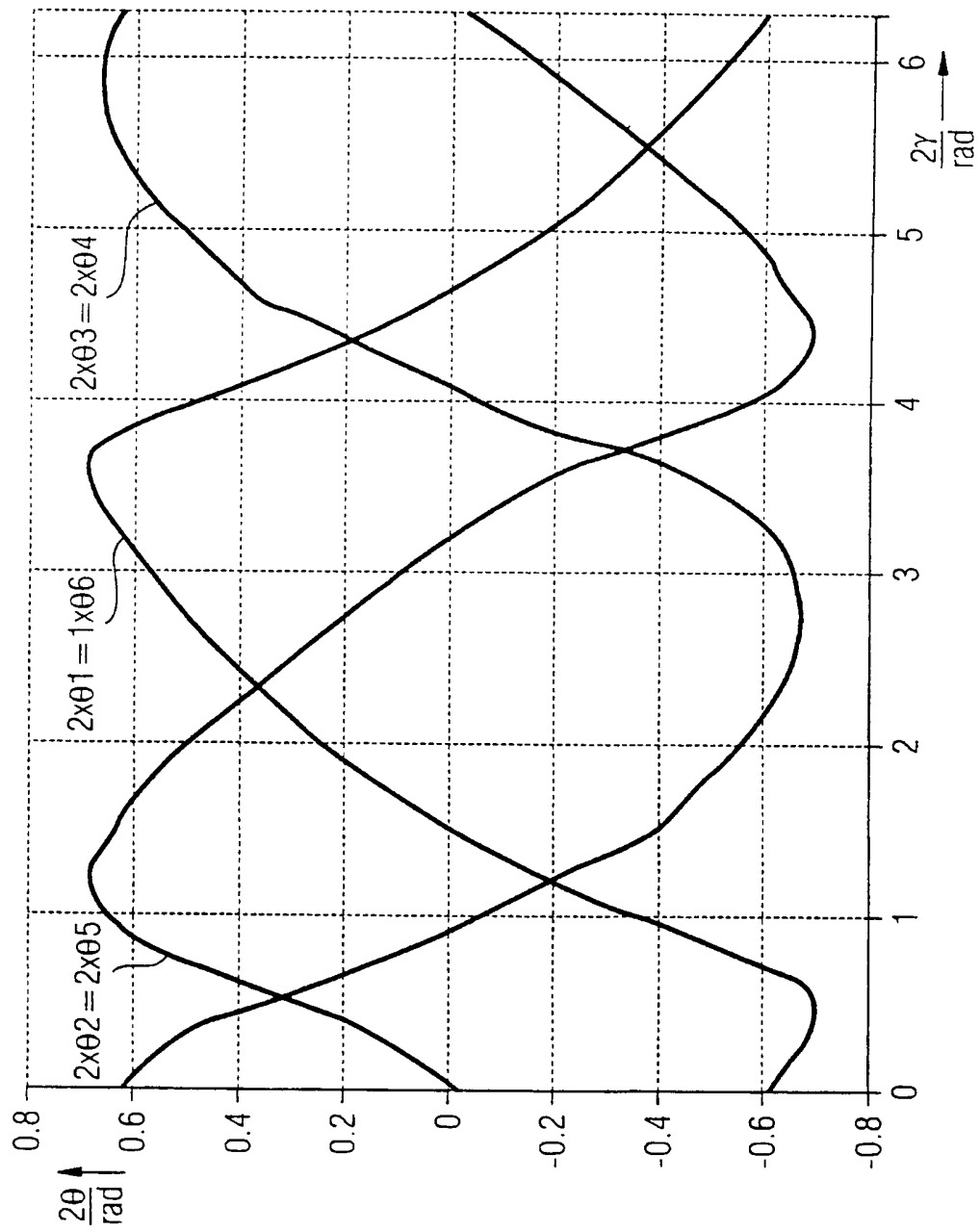


FIG 7



7/8

FIG 8



8/8

FIG 9

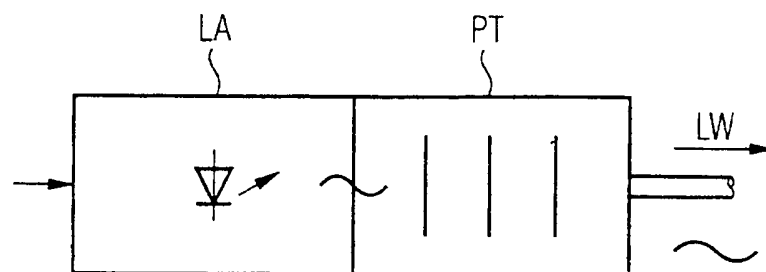


FIG 10

